

Исследование временной эволюции коэффициентов в разложении электрической энергии кристалла Rb_2ZnCl_4 по поляризации методом гармонического анализа

В.В. Горбатенко¹, Б.Н. Прасолов², С.А. Горбатенко³, Н.В. Даценко⁴

¹Воронежский государственный технический университет, 394026 Воронеж, Россия

²ООО «Инвестиции и технологии», 394026 Воронеж, Россия

e-mail: vlgorbatenko@mail.ru

³Воронежский государственный институт физической культуры, 394036 Воронеж, Россия

⁴Воронежский государственный университет инженерных технологий, 394036 Воронеж, Россия

Согласно теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира [1, 2] в случае одноосного сегнетоэлектрика можно разложить плотность электрической энергии (W_C) по степеням единственной компоненты поляризации (P_C). Ограничиваясь членами до шестой степени по поляризации, имеем:

$$W_C = \frac{1}{2} a P_C^2 + \frac{1}{4} b P_C^4 + \frac{1}{6} c P_C^6 - E P_C, \quad (1)$$

где a , b , c – коэффициенты, имеющие определенный физический смысл [3].

В теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира предполагается, что в окрестности точки Кюри коэффициент a изменяется с температурой:

$$a = a_0 (T - T_0) \quad (2)$$

Другие коэффициенты в разложении свободной энергии не зависят от температуры. Предполагается, что a_0 и c положительны для всех известных сегнетоэлектриков, а род фазового перехода определяется коэффициентом b .

На основе изучения динамики процессов переполяризации в кристаллах группы A_2BX_4 в сегнетоэлектрической фазе (СФ) в окрестности температуры фазового перехода (T_C) в работе [4], согласно теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира, была построена статическая зависимость плотности электрической энергии от поляризации. Зависимости $W_C(P_C)$, построенные методом гармонического анализа и восстановленные согласно выражению (1) практически совпадают, если учитывать не менее 13 коэффициентов в разложении W_C по четным степеням P_C . В работе [4] обнаружено отличие в знаке коэффициента c выражения (1), полученного экспериментально и предполагаемого из теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира.

В работе [5] методом гармонического анализа процесса переполяризации кристаллов Rb_2ZnCl_4 из величины напряженности поля насыщения (E_K) выделены две составляющие: E_C и E_0 . Составляющая E_C , называемая коэрцитивным полем, обусловлена потерями, возникающими в исследуемом образце, то есть, когда напряженность электрического поля, приложенного к образцу, становится равной величине E_C , поляризация достигает нулевого значения. Величина напряженности поля переключения $E_0 = E_K - E_C$ соответствует величине напряженности поля, которую нужно добавить к E_C , чтобы обеспечить практически полную монодоменизацию исследуемого образца. В работах [4-8] было показано, что, если при изотермической выдержке образцов кристаллов Rb_2ZnCl_4 в сегнетоэлектрической фазе, подключить переменное электрическое поле (E_{\sim}) с частотой порядка 20 кГц и амплитудой (E_m) выше E_K , то после отключения E_{\sim} наблюдаются релаксации E_K . «Электролевой отжиг» приводит к уменьшению E_K , что подтверждает процесс освобождения доменных границ (ДГ) от дефектов. После выключения E_{\sim} происходит увеличение E_K , то есть обратный процесс – процесс закрепления ДГ дефектами. В работе [4] была изучена временная эволюция петель диэлектрического гистерезиса методом гармонического анализа после воздействия на образец E_{\sim} . Анализ временной эволюции петель диэлектрического гистерезиса показал, что имеет место релаксация

величины напряженности поля E_C , а значение напряженности поля переключения E_0 остается практически неизменным.

В работе [9] было проведено исследование временной эволюции формы рельефа зависимости $W_C(P_C)$ в процессе релаксации доменной структуры после выведения ее из состояния равновесия переменным электрическим полем E_{\sim} при изотермической выдержке образцов кристаллов Rb_2ZnCl_4 в СФ вблизи T_C . Из анализа временной зависимости $W_C(P_C)$ следует, что форма потенциального рельефа зависимости $W_C(P_C)$ соответствует теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира, то есть имеет два минимума $W_C(P_C)$ сразу же после отключения E_{\sim} . В процессе релаксации доменной структуры, после выведения ее из положения равновесия полем E_{\sim} , на зависимости $W_C(P_C)$ появляется третий минимум при $P_C = 0$. Чем больше диэлектрические потери, связанные с увеличением E_C , тем более явно он проявляется.

В настоящей работе было проведено исследование эволюции коэффициентов в разложении электрической энергии кристалла Rb_2ZnCl_4 по поляризации методом гармонического анализа в сегнетоэлектрической фазе вблизи точки Кюри в процессе релаксации доменной структуры после выведения ее из состояния равновесия переменным электрическим полем E_{\sim} при изотермической выдержке исследуемых образцов. Установлено, что знак коэффициента с выражения (1), полученного экспериментально в процессе релаксации доменной структуры меняет знак. Знаки коэффициента с, полученного экспериментально и предполагаемого из теории Ландау-Гинзбурга-Девоншира совпадают в первоначальный момент времени после выведения доменной структуры из состояния равновесия переменным электрическим полем E_{\sim} .

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц, *Статистическая физика*, М., Наука, 486 (1976).
2. A.F. Devonshire, Theory of Ferroelectrics, *ADV. Phys.* **3**, 85 (1954).
3. К.М. Рабе, Ч.Г. Ана, Ж. Трискона, М. *Физика сегнетоэлектриков (современный взгляд)*, пер. с англ. Б.А. Струкова и А.И. Лебедева, М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 89 (2011).
4. В.В. Горбатенко, Б.Н. Прасолов, С.А. Горбатенко, *Изв. РАН. Сер. физ.* **83**(9), 1184 (2019).
5. В.В. Горбатенко, В.И. Кудряш, Б.Н. Прасолов, С.А. Горбатенко, *Изв. РАН. Сер. физ.* **75**(10), 1394 (2011).
6. S.A. Gridnev, V.V. Gorbatenko and B.N. Prasolov, *Ferroelectrics* **143**, 85 (1993).
7. С.А. Гриднев, В.В. Горбатенко, Б.Н. Прасолов, *Изв. РАН. Сер. физ.* **57**(3), 97 (1993).
8. B.N. Prasolov, V.V. Gorbatenko, I.A. Safonova, *Ferroelectrics* **186**, 231 (1996).
9. V.V. Gorbatenko, B.N. Prasolov, S.A. Gorbatenko, N.V. Datsenko, *Ferroelectrics* **574**, 123 (2021).